

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **10172172 A**

**(43) Date of publication of application: 26.06.98**

(51) Int. Cl. **G11B 7/135**  
**G11B 7/09**  
**G11B 9/00**

(21) Application number: 08328526

(22) Date of filing: 09.12.96

(71) Applicant: **HITACHI LTD**

(72) Inventor: MURANISHI MASARU  
HOSAKA SUMIO  
SHINTANI TOSHIMICHI  
KIKUKAWA ATSUSHI

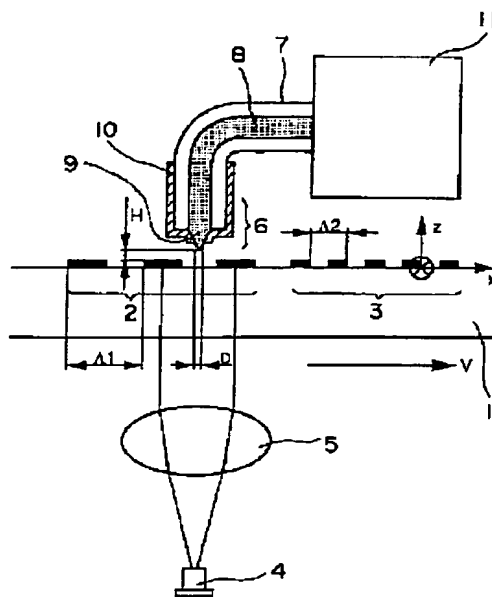
**(54) INTERVAL DETECTING METHOD, INTERVAL CONTROLLER, INFORMATION RECORDING AND REPRODUCING DEVICE AND RECORDING MEDIUM**

(57) Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To maintain prescribed recording density by providing periodic patterns having different periods on a recording medium and detecting the interval between a probe and a sample so as to be able to obtain a prescribed resolution even when the variation of shapes of light probes and a cause changing the resolution of the light probe such as secular change and so forth are present to control the interval by the detected result.

**SOLUTION:** Patterns 2, 3 whose periodic pattern are different are formed on a substrate 1. The substrate 1 is made of transparent material of  $\text{SiO}_2$  or the like and the patterns 2, 3 are made of opaque material of Al or the like. The radiant light from a semiconductor laser 4 is also projected on the patterns 2, 3 because the substrate 1 is transparent. The light diffracted or scattered by the patterns 2, 3 is picked up from the aperture part of a light probe 6 to propagate in an optical fiber 7 to be converted into an electric signal in a photodetector 11. Then, the interval between the light probe 6 and the substrate 1 is detected by performing the frequency analysis of the detected signal.

COPYRIGHT: (C)1998,JPO



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-172172

(43) 公開日 平成10年(1998) 6月26日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

G 1 1 B 7/135  
7/09  
9/00

識別記号

F I

G 1 1 B 7/135  
7/09  
9/00

A  
A

審査請求 未請求 請求項の数10 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願平8-328526

(22) 出願日 平成8年(1996)12月9日

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72) 発明者 村西 勝

茨城県土浦市神立町502番地 株式会社日立製作所機械研究所内

(72) 発明者 保坂 純男

埼玉県比企郡鳩山町赤沼2520番地 株式会社日立製作所基礎研究所内

(72) 発明者 新谷 俊通

埼玉県比企郡鳩山町赤沼2520番地 株式会社日立製作所基礎研究所内

(74) 代理人 弁理士 鶴沼 辰之

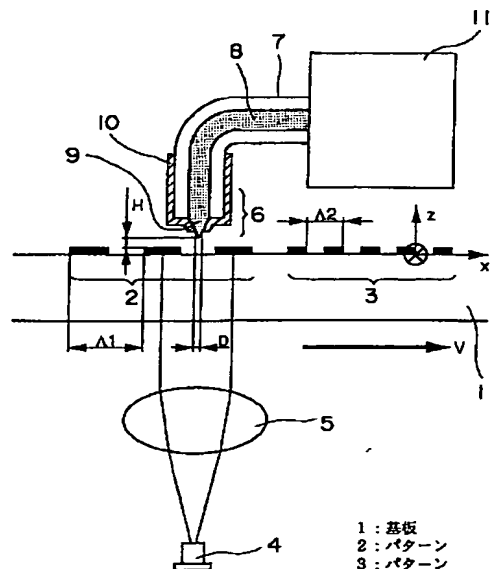
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 間隔検出方法、間隔制御装置、情報記録再生装置、記録媒体

(57) 【要約】

【課題】 プローブ顕微鏡を応用した情報記録再生装置では、光プローブ形状に製造誤差や経時変化などがあると、光プローブと記録媒体との間隔を一定に保持できず、所定の記録密度を得ることが困難となる。光プローブの形状のばらつきや経時変化などの光プローブの分解能を変化させる原因があっても、所定の記録密度を維持する手段を備えた高密度情報記録再生装置を提供する。

【解決手段】 記録媒体1上に異なる周期を有する周期パターン2, 3を設け、これらの周期パターン2, 3を光プローブ6で検出し、得られる信号を周波数分析して比較し、光プローブと記録媒体1との間隔を検出する。



1 : 基板  
2 : パターン  
3 : パターン  
4 : 半導体レーザー  
5 : レンズ  
6 : 光プローブ  
7 : 光ファイバ  
8 : コア  
9 : 突起  
10 : 金属膜  
11 : 光検出器

## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 表面に所定パターンを有する試料と、前記試料に接近した状態で前記試料に対して相対運動し前記試料上のパターンを読み取るプローブとの間隔を検出する間隔検出方法において、  
前記プローブから検出される信号を周波数分析し、その分析結果に基づき前記間隔を検出することを特徴とする間隔検出方法。

【請求項 2】 表面に所定パターンを有する試料と、前記試料に接近した状態で前記試料に対して相対運動し前記試料上のパターンを読み取るプローブとの間隔を検出する間隔検出方法において、  
前記試料上のパターンの少なくとも一部が、異なる周期を有する複数の周期的パターンからなり、  
前記複数の周期的パターンを読み出した結果を相互に比較し前記間隔を検出することを特徴とする間隔検出方法。

【請求項 3】 表面に所定パターンを有する試料と、前記試料に接近した状態で前記試料に対して相対運動し前記試料上のパターンを読み取るプローブとの間隔を検出する間隔検出方法において、  
前記試料上のパターンの少なくとも一部が、所定の周期を有する周期的パターンであり、前記周期的パターンを読み出した結果の基本波成分と高調波成分とを比較し前記間隔を検出することを特徴とする間隔検出方法。

【請求項 4】 表面にランダムなパターンを有する試料と、前記試料に接近した状態で前記試料に対して相対運動し前記試料上のパターンを読み取るプローブとの間隔を検出する間隔検出方法において、  
前記プローブから検出される信号を周波数分析し、その分析結果に基づき前記間隔を検出することを特徴とする間隔検出方法。

【請求項 5】 表面に所定パターンを有する試料と、前記試料に接近した状態で前記試料に対して相対運動し前記試料上のパターンを読み取るプローブと、前記プローブと前記試料との間隔を変化させるアクチュエータと、前記プローブと前記試料との間隔を検出する間隔検出手段とを用いて、前記プローブと前記試料との間隔を制御する間隔制御装置において、  
前記間隔検出手段が、請求項 1 ないし 4 のいずれか一項に記載の間隔検出方法で前記間隔を検出する手段であることを特徴とする間隔制御装置。

【請求項 6】 表面に情報を記録する情報記録媒体と、前記情報記録媒体に情報を記録または前記情報記録媒体から情報を再生するプローブと、前記情報記録媒体と前記プローブとを相対運動させる駆動機構と、前記情報記録媒体表面内の前記プローブの相対位置を検出する面内位置検出手段と、前記情報記録媒体表面と前記プローブとの間隔を検出する間隔検出手段と、装置外部からの命令を受け付けるインターフェースとを有し、前記イン

ターフェースで受け取った命令と前記情報記録媒体表面内の位置検出手段および前記間隔検出手段からの検出信号とを用いて、前記駆動機構を作動させ前記プローブを前記情報記録媒体の所定位置に位置決めし、前記プローブにより情報を記録または再生する情報記録再生装置において、

前記間隔検出手段が、請求項 1 ないし 4 のいずれか一項に記載の間隔検出方法で前記間隔を検出する手段であることを特徴とする情報記録再生装置。

10 【請求項 7】 表面に情報を記録する情報記録媒体と、前記情報記録媒体上に設けられた情報記録マーク列であるトラックと、前記情報記録媒体の情報を記録または前記情報記録媒体から情報を再生するプローブと、前記情報記録媒体と前記プローブとを相対運動させる駆動機構と、前記トラックと前記プローブとの位置ずれを検出するトラッキングエラー検出手段と、前記記録媒体表面と前記プローブとの間隔を検出する間隔検出手段と、装置外部からの命令を受け付けるインターフェースとを有し、前記インターフェースで受け取った命令と前記トラッキングエラー検出手段および前記間隔検出手段からの検出信号とを用いて、前記駆動機構を作動させ前記プローブを前記トラックに沿って相対運動させ、前記プローブにより情報を記録または再生する情報記録再生装置において、

20 前記情報記録媒体が、前記トラックの途中に複数のトラックを横切って配置されたくさび型マークを有し、  
前記トラッキングエラー検出手段が、前記くさび型のマークに前記プローブを接近させた時に発生する信号を用いて前記トラックと前記プローブとの位置ずれを検出することを特徴とする情報記録再生装置。

30 【請求項 8】 表面に情報を記録する情報記録媒体と、前記情報記録媒体に情報を記録または前記情報記録媒体から情報を再生するプローブと、前記情報記録媒体と前記プローブとを相対運動させる駆動機構と、前記情報記録媒体表面内の前記プローブの相対位置を検出する面内位置検出手段と、前記情報記録媒体表面と前記プローブとの間隔を検出する間隔検出手段と、装置外部からの命令を受け付けるインターフェースとを有し、前記インターフェースで受け取った命令と前記情報記録媒体表面内の位置検出手段および前記間隔検出手段からの検出信号とを用いて、前記駆動機構を作動させ前記プローブを前記情報記録媒体の所定位置に位置決めし、前記プローブにより情報を記録または再生する情報記録再生装置において、

40 前記プローブが、情報記録または情報再生に用いている光の波長よりも小さい開口を有し、前記開口を通過した光を用いて情報を記録または再生する手段であり、  
前記駆動機構が、粗動機構と微動機構とからなり、  
前記微動機構が、磁場中に置かれたコイルに作用する力を用いて前記プローブを前記情報記録媒体の所定位置に

位置決めする手段であることを特徴とする情報記録再生装置。

【請求項 9】 表面に情報を記録する情報記録媒体と、前記情報記録媒体に情報を記録または前記情報記録媒体から情報を再生するプローブと、前記情報記録媒体と前記プローブとを相対運動させる駆動機構と、前記情報記録媒体表面内の前記プローブの相対位置を検出する面内位置検出手段と、前記情報記録媒体表面と前記プローブとの間隔を検出する間隔検出手段と、装置外部からの命令を受け付けるインターフェースとを有し、前記インターフェースで受け取った命令と前記情報記録媒体表面内の位置検出手段および前記間隔検出手段からの検出信号とを用いて、前記駆動機構を作動させ前記プローブを前記情報記録媒体の所定位置に位置決めし、前記プローブにより情報を記録または再生する情報記録再生装置において、前記プローブが、情報記録または情報再生に用いている光の波長よりも小さい開口を有し、前記開口を通過した光を用いて情報を記録または再生する手段であり、前記開口と情報の記録または再生に用いる光を放射する光源とが、1枚の基板の上に搭載されていることを特徴とする情報記録再生装置。

【請求項 10】 表面に情報を記録する記録膜を有し、前記記録膜に対して所定間隔を保ちながら相対運動するプローブにより情報を記録されまたは再生される情報記録媒体において、前記記録膜に前記記録膜と前記プローブとの間隔を検出するためのパターンを備えたことを特徴とする情報記録媒体。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、間隔検出方法、間隔制御装置、情報記録再生装置、情報記録媒体に係り、特に、走査型プローブ顕微鏡を情報記録再生装置に応用した場合に、光プローブの形状のばらつきや経時変化などの光プローブの分解能を変化させる原因があっても、所定の記録密度を維持する手段に関する。

【0002】

【従来の技術】走査型プローブ顕微鏡においてプローブと試料との間隔を検出する方法については、例えば、森田清三著『走査型プローブ顕微鏡の全て』（工業調査会）に記載されている。

【0003】プローブ顕微鏡の情報記録再生装置への応用については、『Applied Physics Letter』 Vol. 61, No. 2, 13, July 1992, P142に、Betzig などの報告が記載されている。

【0004】磁気ディスク装置のトラッキングエラー信号の検出方法については、例えば、『IBM Disk Storage Technology』 No. GA26-1665-0, 90, February 1980 に記載されている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】走査型プローブ顕微鏡は、通常の光学顕微鏡と比較して高分解能であり、通常の電子顕微鏡と比較して装置構成が簡単である。走査型プローブ顕微鏡は、これらの特徴を生かして、情報記録再生装置に応用すると、従来の磁気ディスク装置や光ディスク装置と比較べて、記録密度を高くできる。

【0006】走査型プローブ顕微鏡において、高分解能を実現するには、分解能と同程度の間隔までプローブを試料に接近させる必要がある。情報記録再生装置に応用した場合も、プローブと情報記録媒体とを記録マークの大きさと同程度まで接近させる必要がある。

【0007】走査型プローブ顕微鏡では、所定の分解能を得るとともに、プローブと試料との衝突を回避するため、プローブと試料との間隔を一定に保つように制御している。プローブと試料との間隔を検出する方法としては、

①トンネル電流を用いる方法

②原子間力を片持ち梁で変位に変換し、この変位を光で検出する方法

③プローブで検出される光量を一定とする方法

などが用いられている。これらの方法では、例えばプローブ形状にばらつきや経時変化があった場合、プローブと試料との間隔が一定であっても、得られる信号が変化してしまい、間隔を一定に保持できなくなり、所定の分解能が得られなくなる。

【0008】走査型プローブ顕微鏡を情報記録再生装置に応用した場合も、同じ問題が発生し、プローブの形状にばらつきや経時変化があった場合、所定の記録密度を得ることが困難となる。

【0009】磁気ディスク装置などでは、トラッキングエラー信号を得るために、ディスク表面にマークを設けているが、ヘッドとディスクとの間隔を検出するマークは設けられていない。通常の磁気ディスク装置においては、ヘッドが浮上スライダに載せられ、ディスクの回転で生じる空気流の力によりディスクから浮上しているからである。

【0010】磁気ディスク装置のような情報記録再生装置において、記録密度をさらに向上させようとする場合、ヘッドとディスクとの間隔を精密に制御する必要があり、ヘッドとディスクとの間隔を検出しなければならない。

【0011】本発明の目的は、プローブの形状のばらつきや経時変化などのプローブの分解能を変化させる原因があっても、所定の分解能が得られるように、プローブと試料との間隔を検出する方法と、検出結果に基づいて前記間隔を制御する装置とを提供することである。

【0012】本発明の他の目的は、プローブの形状のばらつきや経時変化などのプローブの分解能を変化させる原因があっても、所定の記録密度を維持する手段を備え

た高密度情報記録再生装置を提供することである。

【0013】本発明の別の目的は、上記間隔検出方法の実施に好適なパターンを備えた情報記録媒体を提供することである。

【0014】

【課題を解決するための手段】本発明は、上記目的を達成するために、表面に所定パターンを有する試料と、試料に接近した状態で試料に対して相対運動し試料上のパターンを読み取るプローブとの間隔を検出する間隔検出方法において、プローブから検出される信号を周波数分析し、その分析結果に基づき間隔を検出する間隔検出方法を提案する。

【0015】本発明は、また、上記目的を達成するために、表面に所定パターンを有する試料と、試料に接近した状態で試料に対して相対運動し試料上のパターンを読み取るプローブとの間隔を検出する間隔検出方法において、試料上のパターンの少なくとも一部が、異なる周期を有する複数の周期的パターンからなり、複数の周期的パターンを読み出した結果を相互に比較し間隔を検出する間隔検出方法を提案する。

【0016】本発明は、さらに、上記目的を達成するために、表面に所定パターンを有する試料と、試料に接近した状態で試料に対して相対運動し試料上のパターンを読み取るプローブとの間隔を検出する間隔検出方法において、試料上のパターンの少なくとも一部が、所定の周期を有する周期的パターンであり、周期的パターンを読み出した結果の基本波成分と高調波成分とを比較し間隔を検出する間隔検出方法を提案する。

【0017】本発明は、上記目的を達成するために、表面にランダムなパターンを有する試料と、試料に接近した状態で試料に対して相対運動し試料上のパターンを読み取るプローブとの間隔を検出する間隔検出方法において、プローブから検出される信号を周波数分析し、その分析結果に基づき間隔を検出する間隔検出方法を提案する。

【0018】本発明は、上記目的を達成するために、表面に所定パターンを有する試料と、試料に接近した状態で試料に対して相対運動し試料上のパターンを読み取るプローブと、プローブと試料との間隔を変化させるアクチュエータと、プローブと試料との間隔を検出する間隔検出手段とを用いて、プローブと試料との間隔を制御する間隔制御装置において、間隔検出手段が、上記いずれかの間隔検出方法で間隔を検出する手段である間隔制御装置を提案する。

【0019】本発明は、上記他の目的を達成するために、表面に情報を記録する情報記録媒体と、情報記録媒体に情報を記録または情報記録媒体から情報を再生するプローブと、情報記録媒体とプローブとを相対運動させる駆動機構と、情報記録媒体表面内のプローブの相対位置を検出する面内位置検出手段と、情報記録媒体表面

とプローブとの間隔を検出する間隔検出手段と、装置外部からの命令を受け付けるインターフェースとを有し、インターフェースで受け取った命令と情報記録媒体表面内の位置検出手段および間隔検出手段からの検出信号とを用いて、駆動機構を作動させプローブを情報記録媒体の所定位置に位置決めし、プローブにより情報を記録しまたは再生する情報記録再生装置において、間隔検出手段が、上記いずれかの間隔検出方法で間隔を検出する手段である情報記録再生装置を提案する。

10 【0020】本発明は、また、上記他の目的を達成するために、表面に情報を記録する情報記録媒体と、情報記録媒体上に設けられた情報記録マーク列であるトラックと、情報記録媒体の情報を記録または情報記録媒体から情報を再生するプローブと、情報記録媒体とプローブとを相対運動させる駆動機構と、トラックとプローブとの位置ずれを検出するトラッキングエラー検出手段と、記録媒体表面とプローブとの間隔を検出する間隔検出手段と、装置外部からの命令を受け付けるインターフェースとを有し、インターフェースで受け取った命令とトラッキングエラー検出手段および間隔検出手段からの検出信号とを用いて、駆動機構を作動させプローブをトラックに沿って相対運動させ、プローブにより情報を記録しまたは再生する情報記録再生装置において、情報記録媒体が、トラックの途中に複数のトラックを横切って配置されたくさび型マークを有し、トラッキングエラー検出手段が、くさび型のマークにプローブを接近させた時に発生する信号を用いてトラックとプローブとの位置ずれを検出する情報記録再生装置を提案する。

30 【0021】本発明は、さらに、上記他の目的を達成するために、表面に情報を記録する情報記録媒体と、情報記録媒体に情報を記録または情報記録媒体から情報を再生するプローブと、情報記録媒体とプローブとを相対運動させる駆動機構と、情報記録媒体表面内のプローブの相対位置を検出する面内位置検出手段と、情報記録媒体表面とプローブとの間隔を検出する間隔検出手段と、装置外部からの命令を受け付けるインターフェースとを有し、インターフェースで受け取った命令と情報記録媒体表面内の位置検出手段および間隔検出手段からの検出信号とを用いて、駆動機構を作動させプローブを情報記録媒体の所定位置に位置決めし、プローブにより情報を記録しまたは再生する情報記録再生装置において、プローブが、情報記録または情報再生に用いている光の波長よりも小さい開口を有し、開口を通過した光を用いて情報を記録しまたは再生する手段であり、運動機構が、粗動機構と微動機構とからなり、微動機構が、磁場中に置かれたコイルに作用する力を用いてプローブを情報記録媒体の所定位置に位置決めする手段である情報記録再生装置を提案する。

50 【0022】本発明は、上記他の目的を達成するために、表面に情報を記録する情報記録媒体と、情報記録媒

体に情報を記録または情報記録媒体から情報を再生するプローブと、情報記録媒体とプローブとを相対運動させる駆動機構と、情報記録媒体表面内のプローブの相対位置を検出する面内位置検出手段と、情報記録媒体表面とプローブとの間隔を検出する間隔検出手段と、装置外部からの命令を受け付けるインターフェースとを有し、インターフェースで受け取った命令と情報記録媒体表面内の位置検出手段および間隔検出手段からの検出信号とを用いて、駆動機構を作動させプローブを情報記録媒体の所定位置に位置決めし、プローブにより情報を記録または再生する情報記録再生装置において、プローブが、情報記録または情報再生に用いている光の波長よりも小さい開口を有し、開口を通過した光を用いて情報を記録または再生する手段であり、開口と情報の記録または再生に用いる光を放射する光源とが、1枚の基板の上に搭載されている情報記録再生装置を提案する。

【0023】本発明は、上記別の目的を達成するために、表面に情報を記録する記録膜を有し、記録膜に対して所定間隔を保ちながら相対運動するプローブにより情報を記録されまたは再生される情報記録媒体において、記録膜に記録膜とプローブとの間隔を検出するためのパターンを備えた情報記録媒体を提案する。

【0024】本発明においては、記録媒体上に異なる周期を有する周期パターンまたはランダムなパターンを設け、これらのパターンをプローブで検出し、得られる信号を周波数分析して比較し、プローブと記録媒体との間隔を検出するので、プローブの形状のばらつきや経時変化などのプローブの分解能が変化する原因があっても、所定の分解能が得られるように、プローブと試料との間隔を制御でき、プローブの分解能が変化する原因があっても、所定の記録密度を維持する高密度情報記録再生装置を実現できる。

【0025】本発明では、プローブと記録媒体との間隔を検出するために、光の近接場を用いる場合と、静磁場を用いる場合と、静電場を用いる場合とが考えられている。単色光の光の場がヘルムホルツ方程式を満たすこと、静磁場または静電場がラプラス方程式を満たすことから、周期パターンを検出する手段が周期パターンに近付けば近づくほど、周期パターンを検出する分解能が高くなることを利用している。

【0026】

【発明の実施の形態】

【0027】

【実施例1】次に、図1および図2を参照して、本発明による試料とプローブとの間隔検出方法の実施例について説明する。図1は、本発明による試料とプローブとの間隔検出方法を説明する正面図、図2は、本発明による間隔検出方法の検出原理を説明する図である。

【0028】図1において、基板1上には、周期 $\Lambda_1$ の周期的パターン2と周期 $\Lambda_2$ の周期的パターン3とが、

形成されている。基板1は、 $\text{SiO}_2$ のような透明な物質からなり、パターン2、3は、Al、Cr、Wのような不透明な物質からなる。半導体レーザ4からの放射光は、レンズ5でコリメートされ、基板1のパターン2、3を形成した面とは反対側の面から、基板1に照射される。基板1は、透明であるから、この光は、パターン2、3にも照射され、パターン2、3によって回折または散乱される。パターン2、3には、光プローブ6を接近させてある。

10 【0029】光プローブ6は、光ファイバ7の端面をエッチング加工し、コア8の部分を実鋭化させて突起9を形成し、突起9の部分を金属膜10で被覆し、突起9の先端部分に開口を設けて構成されている。光ファイバ7は、 $\text{GeO}_2$ をドープしたコア8をもつ石英系の光ファイバである。フッ酸とフッ化アンモニウムとの混合溶液を用いて、光ファイバ7の端面をエッチングすると、突起9を形成できる。金属膜10としては、例えばAuやPtを用いる。

20 【0030】半導体レーザ4から放射される光の波長を $\lambda$ とすると、開口の大きさDは、放射光の波長 $\lambda$ よりも小さく、金属膜10の厚さは、半導体レーザ4からの放射光を遮るのに十分な厚さとなっている。したがって、光プローブ6は、開口部分から光を選択的にピックアップ可能である。パターン2、3により回折または散乱された光は、これに接近させた光プローブ6の開口部分からピックアップされ、光ファイバ7の中を伝播し、光検出器11で電気信号に変換される。

30 【0031】図2を用いて、間隔検出の原理について説明する。図2の横軸は、図1のパターン2、3のような周期的パターンの空間周波数Kを表わしており、周期的パターンの周期を $\Lambda$ として、次式で定義される。

【0032】

【数1】

$$K = \frac{2\pi}{\Lambda}$$

40 【0033】図1のパターン2、3のような周期的パターンに光を照射し、パターンと光プローブとの間隔を所定値に維持しながらパターンを走査した場合、光プローブで検出される光の量は、走査に伴って変化する。周期的パターンを走査した場合、検出光量の変化も周期的となる。図2の縦軸は、周期的パターンの空間周波数Kに対する光量の周期的変化の基本波成分の振幅Iを表わしている。

50 【0034】ここで、3次元座標系を図1のように設定する。すなわち陽には描かれていないが、y軸は紙面に垂直であると定義する。パターン上でのプローブ先端の位置を先に定義した座標系を用いて、(x, y, z)と表わす。プローブ先端の位置が(x, y, z)である場合、プローブで検出される光量を $f(x, y, z)$ とする。ここでは、話を単純化するために、パターンの構造とパ

ーンに照射される光とは、 $y$  軸方向には一様と仮定する。しかし、ここで説明する本発明の方法を  $y$  軸方向に一様でない場合に拡張することは、容易である。

【0035】このように仮定すると、関数  $f(x, y, z)$  は  $y$  に依存しなくなるので、これを簡単に  $f(x, z)$  と書くことにする。パターン近傍の点  $(x, y, z)$  における光の電界ベクトルの複素振幅を  $E(x, y, z)$  とする。これも  $y$  には依存しないので、簡単に  $E(x, z)$  と書くことにする。開口の大きさが小さい場合、近似的には、次の関係式が成り立つ。

【0036】

【数2】

$$f(x, z) \propto |E(x, z)|^2$$

【0037】 $E(x, z)$  は、 $x$  に関しては周期関数なので、次のようにフーリエ級数に展開できる。ここでは、光源から放射された光がパターンに垂直に照射されていることが、暗に仮定されているが、そうでない場合に拡\*

$$E(x, z) = \sum_n b_n \exp \left[ i \cdot n \cdot K \cdot x - \sqrt{(n \cdot K)^2 - k^2} \cdot z \right]$$

【0042】 $n=0$  の場合は、根号の中が負となる。この場合、平方根の符号は不定となるが、ここでは、 $E(x, z)$  の  $n=0$  の成分が、 $z$  軸の正方向に伝播する平面波となるように、符号を選ぶことにする。すると、数※

$$f(x, z) \propto \sum_{n, m} b_n \cdot b_m^* \times$$

$$\exp \left[ i \cdot (n - m) \cdot K \cdot x - \left\{ \sqrt{(n \cdot K)^2 - k^2} + \sqrt{(m \cdot K)^2 - k^2} \right\} \cdot z \right]$$

但し、 $b_m^*$  は  $b_m$  の複素共役を示す。

【0044】ここでも、 $m, n=0$  の場合、根号の中が負となり、平方根の符号は不定となる。ここでは、 $n=0$  の場合の  $n$  を含む根号の符号を前述の選び方と同様にとり、 $m=0$  の場合の  $m$  を含む根号の符号を前述の選★

$$\sum_n b_n \cdot b_{n+1}^* \exp \left[ -i \cdot K \cdot x - \left\{ \sqrt{(n \cdot K)^2 - k^2} + \sqrt{((n+1) \cdot K)^2 - k^2} \right\} \cdot z \right] + \sum_n b_n \cdot b_{n-1}^* \exp \left[ i \cdot K \cdot x - \left\{ \sqrt{(n \cdot K)^2 - k^2} + \sqrt{((n-1) \cdot K)^2 - k^2} \right\} \cdot z \right]$$

【0046】ここでも、根号の中が負になった時の符号の取り方は、前述の通りとする。数式7で、 $n \neq 0$  の項は、 $z$  の増大とともに急激に減衰するので、簡単にするために、ここでは、数式7の第1項では  $n=0, -1$ 、第2項では  $n=0, 1$  の項のみを考えることにする。その他の項を考慮しても、結論は同じである。すると、数

\*張することは、容易である。ただし、周期パターンとはいうものの、実際には同じ構造を無限に繰り返すことは不可能なので、フーリエ級数への展開も近似的である。

【0038】

【数3】

$$E(x, z) = \sum_n a_n(z) \exp(i \cdot n \cdot K \cdot x)$$

【0039】

10 【数4】

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

【0040】数式3、数式4のようにすると、 $E(x, z)$  はヘルムホルツ方程式を満たすので、 $K > k$  の場合、すなわち周期的パターンの周期  $\Lambda$  が光源の波長  $\lambda$  よりも短い場合、数式3は、次のように変形できる。

【0041】

【数5】

※式2から数式6のようになる。

【0043】

【数6】

★び方と反対にとる。数式6において、基本波成分を取り出すと、数式7となる。

【0045】

【数7】

式7は、数式8のようになる。そこで、数式9、数式10のようにおく。 $A(K)$ 、 $B(K)$ 、 $\alpha(K)$ 、 $\beta(K)$  が  $K$  の関数になっているのは、一般には  $b_n$  が  $K$  の関数だからである。すると、数式8は、数式11となる。

【0047】

【数8】

$$\begin{aligned}
& b_0 \cdot b_1^* \cdot \exp \left[ -i \cdot K \cdot x - \left\{ i \cdot k + \sqrt{K^2 - k^2} \right\} \cdot z \right] \\
& + b_{-1} \cdot b_0^* \cdot \exp \left[ -i \cdot K \cdot x - \left\{ \sqrt{K^2 - k^2} - i \cdot k \right\} \cdot z \right] \\
& + b_0 \cdot b_{-1}^* \cdot \exp \left[ i \cdot K \cdot x - \left\{ i \cdot k + \sqrt{K^2 - k^2} \right\} \cdot z \right] \\
& + b_1 \cdot b_0^* \cdot \exp \left[ i \cdot K \cdot x - \left\{ \sqrt{K^2 - k^2} - i \cdot k \right\} \cdot z \right]
\end{aligned}$$

【0048】

【数9】

$$A(K) = \operatorname{Re}[b_1 \cdot b_0^*] \quad , \quad \alpha(K) = \arg[b_1 \cdot b_0^*]$$

【0049】

【数10】

$$B(K) = \operatorname{Re}[b_0 \cdot b_{-1}^*] \quad , \quad \beta(K) = \arg[b_0 \cdot b_{-1}^*]$$

【0050】

【数11】

$$\begin{aligned}
& 2 \cdot A(K) \cdot \exp(-\sqrt{K^2 - k^2} \cdot z) \cdot \cos(K \cdot x + k \cdot z + \alpha(K)) \\
& + 2 \cdot B(K) \cdot \exp(-\sqrt{K^2 - k^2} \cdot z) \cdot \cos(K \cdot x - k \cdot z + \beta(K))
\end{aligned}$$

【0051】数式11の指数関数部分の影響で、 $\Lambda$ に比較して $z$ の余り大きい所では、本発明は利用できないから、 $z$ を小と考え、また、 $K > k$ であるので、数式10のコサイン関数の引き数の $Kz$ の項を $Kx$ に比較して無視することにする。また、図1の $x$ 軸の正負の向きの反転に関して、パターン1の形状を対称に製造しておく。すると、 $A(K) = B(K)$ 、 $\alpha(K) = \beta(K)$ となるので、数式11は次のようになる。ここでも、光源から放射された光がパターン1に垂直に照射されていることが、暗に仮定されているが、そうでない場合でも、結論は同様である。したがって、光量の周期的変化の基本波成分の振幅 $I$ は、 $A(K)$ を再定義して比例定数を $A(K)$ に繰り込むと、数式13となる。

【0052】

【数12】

$$4 \cdot A(K) \cdot \exp(-\sqrt{K^2 - k^2} \cdot z) \cdot \cos(K \cdot x + \alpha(K))$$

【0053】

【数13】

$$I(K) = A(K) \cdot \exp(-\sqrt{K^2 - k^2} \cdot z)$$

【0054】パターン1の周期 $\Lambda$ が開口の大きさに近くなってくると、数式2の近似が適切でなくなる。この場合、プローブの特性を表わす関数 $P(K)$ を導入して、数式14のように表現できる。

【0055】

【数14】

$$I(K) = P(K) \cdot A(K) \cdot \exp(-\sqrt{K^2 - k^2} \cdot z)$$

\* 【0056】試料とプローブとの間隔 $H$ が小さい場合は、数式14の指数関数の部分が効かないので、 $I(K)$ のグラフは、図2の $H$ ：小の場合のようになる。 $H$ が大きい場合は、数式14の指数関数の影響で、 $I(K)$ は $H$ が小の場合と比較して、 $K$ が大きくなるほど小さくなる。したがって、そのグラフは、図2の $H$ ：大の場合のようになる。

【0057】図1の基板1の上には、周期 $\Lambda_1$ のパターン2と周期 $\Lambda_2$ のパターン3とが設けられている。パターン2、パターン3の空間周波数 $K_1$ 、 $K_2$ は、数式15から求められる。

【0058】

【数15】

$$K_1 = \frac{2 \cdot \pi}{\Lambda_1} \quad , \quad K_2 = \frac{2 \cdot \pi}{\Lambda_2}$$

【0059】 $H$ が小の場合に、光プローブ6がパターン2を走査した時の光量の変化の基本波成分は、図2のP点で表わされる。同様に、パターン3を走査した時の光量の変化の基本波成分は、図2のQ点で示される。光検出器11は、光プローブ6で検出した光を電気信号に変換した後、信号を更に処理し、パターン2、3を走査した時の光量の変化の基本波成分の差をとる。 $H$ が小の場合、その差は、図2の $\Delta I_1$ となる。同様に、 $H$ が大きい場合にパターン2を走査した時の光量の変化の基本波成分は、図2のR点であり、パターン3を走査した時の光量の変化の基本波成分は、S点で示されている。この場合の両者の差は、図2の $\Delta I_2$ となる。数式14から、 $\Delta I_1$ に比較して、 $H$ が大となるほど $\Delta I_2$ が大となることが判る。

50 【0060】したがって、図1のようなパターン2、3



を用意し、これらのパターン2, 3を走査して光量の変化の基本波成分の差をとると、光プローブ6とパターン2, 3との間隔Hを検出できる。

【0061】図1に示すように、光プローブ6に対して、基板1をx軸の正の方向に相対速度Vで移動させて、パターン2, 3を光プローブ6で走査させる場合を考える。パターン2を走査した場合に、光プローブ6で検出される光量は、パターン2の周期パターンを反映して時間領域で周期的になる。その基本角周波数 $\omega_1$ は、数式16のようになり、パターン3を走査した場合に、基本角周波数 $\omega_2$ は、数式17のようになる。

【0062】

【数16】

$$\omega_1 = K_1 \cdot V$$

【0063】

【数17】

$$\omega_2 = K_2 \cdot V$$

【0064】したがって、光検出器11で得られた信号を周波数分析し、角周波数 $\omega_1$ と $\omega_2$ の成分の大きさを比較しても、光プローブ6とパターン2, 3との間隔Hを検出できる。すなわち、光プローブ6で検出された光を光検出器11で電気信号に変換し、中心角周波数が $\omega_1$ と $\omega_2$ のバンドパスフィルタにその電気信号を通し、各々の出力をダイオードで半波整流し、整流出力を適当な時定数を有するローパスフィルタに入力し、出力の差をとれば、光プローブ6とパターン2, 3との間隔Hを検出できる。

【0065】ここまでは、パターン2, 3が周期パターンを有するものとして説明してきたが、パターンが周期パターンを持たない場合にも、同様の方法で、間隔Hを検出できる。周期パターンを持たない場合でも、パターンで散乱、回折された光の場合は、フーリエ変換すると、さまざまな空間周波数を持つ周期的関数の線形結合と見ることが可能である。この場合にも、線形結合を構成する個々の周期的関数について、図2のように、その空間周波数とこれに対応した光量変化の振幅とを考慮することができる。周期パターンを持たないパターンで散乱、回折された光の場合も、ヘルムホルツ方程式を満たすので、空間周波数が高くなるほど、対応した光量変化の振幅は、 $z$ とともに急激に減少する。

【0066】したがって、必ずしも周期的でないパターンを用意し、このパターンに光を照射して、図1の光プローブ6のような光プローブで走査し、光プローブで検出される光量の空間周波数を分析し、周波数の異なる複数の空間周波成分を比較すると、光プローブとパターンとの間隔を検出できる。この場合にも、光プローブとパターンとの相対速度が既知であれば、時間領域での周波数成分を比較しても、間隔を検出できる。

【0067】

【実施例2】次に、図3～図6を用いて、本発明による

情報記録再生装置の実施例を説明する。図3は、本発明による情報記録再生装置の実施例の構造を示す斜視図、図4は、図3の情報記録再生装置のヘッド周りを拡大して示す斜視図、図5は、図4のヘッドを裏返し更に拡大して示す斜視図、図6は、情報記録媒体表面を拡大して示す平面図である。

【0068】図3の情報記録媒体21は、ここでは、情報記録媒体21の後ろの部分に位置しているスピンドルモータを介して、ベース22に取り付けられており、スピンドルモータの中心軸の周りに回転している。情報記録媒体21の表面には、同心円状に記録トラックが設けられており、情報はこの記録トラックに沿って記録される。位置決めモータ23は、ベース22に固定され、アーム24を回転させ、ヘッド27を情報記録媒体21の半径方向に動かす。アーム24の先端部には、2次元アクチュエータ26が設けられており、ヘッド27は、2次元アクチュエータ26に固定されている。2次元アクチュエータ26は、アーム24に対してヘッド27を情報記録媒体21の表面に垂直な方向と半径方向とに動かす機能を備えている。ヘッド27は、後述の構造を有しており、情報記録媒体21に情報を記録したり、光検出器28と組み合わせて情報を再生する機能を備えている。

【0069】システムコントローラ29には、この装置の外部と情報をやり取りするインターフェースを含んでいる。装置の外部から、このインターフェースを通して情報の記録または再生の命令が入力されると、システムコントローラ29は、位置決めモータ23と2次元アクチュエータ26とを駆動して、ヘッド27を情報記録媒体21の半径方向に動かし、情報を記録または再生すべき所定のトラックにヘッド27を位置決めする。後述の方法で、所定のトラックとヘッド27との位置ずれを示すトラックエラー信号が得られるので、システムコントローラ29は、この信号を位置決めモータ23と2次元アクチュエータ26とにフィードバックし、位置決めする。この時、位置決めモータ23が粗動を受け持ち、2次元アクチュエータ26が微動を受け持つ。

【0070】位置決めした時点で、システムコントローラ29は、ヘッド27に信号を与え、所定のトラックに情報を記録したり、光検出器28の出力から所定のトラックに記録されている情報を再生する。システムコントローラ29は、装置外部からの命令が情報の再生であった場合、内部に含まれているインターフェースを通じ、再生した情報を装置外部に出力する。

【0071】2次元アクチュエータ26は、図4に示すように、可動部38、支持ばね31、ヨーク32、磁石33、コイル34からなる。支持ばね31は、可動部38をアーム24に対して情報記録媒体21の表面に垂直な方向と情報記録媒体21の半径方向には弾性的に支持し、その他の自由度については運動を拘束している。コ

イル34は可動部38に固定され、磁石33とヨーク32によって磁界が作用している。コイル34は、電流を流すと磁場から情報記録媒体21の半径方向の力を受けるコイルと、磁場から情報記録媒体21の表面に垂直な方向に力を受けるコイルの2種類のコイルから構成されている。それぞれ独立に電流を流すことができ、可動部38を、情報記録媒体21の半径方向と、情報記録媒体21の表面に垂直な方向の2方向に、独立に動かすことができる。

【0072】ヘッド27は、図4に示すように、基板35、半導体レーザ36、光プローブ37からなる。図5は、ヘッド27を裏返し、拡大して見た構造を示す斜視図である。

【0073】基板35には、V溝39が設けられており、光プローブ37は、このV溝に位置決めし固定されている。光プローブ37は、図1の光プローブ6と同様の構造であり、光ファイバのコアを尖鋭化し、その上に金属を被覆し、尖鋭化したコアの先端部分に微小な開口を設けてある。

【0074】半導体レーザ36は、放射された光が、光プローブ37のコアに結合するように位置決めし、基板35に固定されている。半導体レーザ36から放射された光は、前述の開口を通り、情報記録媒体21の表面に照射される。この開口の大きさは、半導体レーザ36から放射される光の波長よりも小さくなっている。すなわち、通常の光ディスク装置の場合とは異なり、半導体レーザ36から放射される光の波長よりも小さい領域にのみ、光を照射できる。

【0075】したがって、この開口を通った光を用いて、情報記録媒体21上に情報を記録または再生すると、通常の光ディスク装置の場合よりも小さいマークを読み書き可能であり、通常の光ディスク装置よりも高い記録密度を実現できる。この場合、光プローブ37の先端に設けられた開口と情報記録媒体21の表面との間隔は、開口の大きさ程度にする必要がある。

【0076】情報記録媒体21が回転する場合に、一般には面振れが存在し、開口と情報記録媒体21との間隔が変化し、場合によっては、光プローブ37の先端が、情報記録媒体21にぶつかってしまう。間隔が変化すると、情報の記録や再生が巧くできなくなり、ぶつかってしまうと、光プローブ37や情報記録媒体21が損傷するおそれがある。このため、光プローブ37の先端と情報記録媒体21との間隔を一定に保つ必要がある。

【0077】システムコントローラ29は、後述する方法で検出し両者の間隔を2次元アクチュエータ26にフィードバックし、ヘッド27を情報記録媒体21の表面に垂直な方向に動かし、両者の間隔を一定に保つ。従来のプローブ顕微鏡や、これを応用した情報記録再生装置では、プローブと試料または記録媒体とを相対的に動かすために、ピエゾ圧電素子が用いられていた。ピエゾ圧

電素子は、駆動に数十Vから百V程度の高電圧が必要であり、しかも、可動範囲が、通常は、数十 $\mu\text{m}$ 程度である。

【0078】2次元アクチュエータ26は、情報記録媒体21の製造誤差や組立て誤差による情報記録媒体21の回転の偏芯や面振れの影響を吸収する必要がある。ピエゾ圧電素子のように可動範囲が数十 $\mu\text{m}$ 程度の場合、製造誤差や組立て誤差を小さくする必要があり、製造時の公差が厳しくなる。

10 【0079】これに比べて、本実施例2における2次元アクチュエータ26は、磁気回路とコイルとを組み合わせた構成となっている。このような構成では、駆動電圧は、数Vから十数V程度と比較的低い電圧で十分であり、アクチュエータの可動範囲も、数百 $\mu\text{m}$ から1mmを容易に確保できる。その結果、ピエゾ圧電素子を用いた場合に比較して、大きな製造誤差や組立て誤差を許容でき、装置全体の組立てが容易になる。

20 【0080】図3の情報記録媒体21は、石英やポリカーボネートのような透明な物質からなる円板上に、通常の相変化型の光ディスクに用いられる記録膜を成膜した構造である。図6は、情報記録媒体表面を拡大して示す平面図である。点線で示されたトラック44、45、46、47、50、51、52、53は、情報を記録するマークの列であり、情報はこれらのトラックに沿ったマークの列により記録される。

30 【0081】トラック44、45、46、47、50、51、52、53は、図6では互いに平行な直線のように描かれているが、図6が拡大図であるために、トラックの曲がりかたが判らないだけであって、実際には、円板の形状をした情報記録媒体21の中心を基準位置として、同心円状に形成されている。ここでは、図6の左側すなわちトラック44側が、円板状の情報記録媒体21の中心側であり、右側すなわちトラック53側が、情報記録媒体21の周辺側である。個々のトラック上には、情報記録部41、間隔検出パターン部42、トラックエラー信号検出パターン部43が設けられている。記録されるべき情報は、図6中で黒い丸印で示された記録マークの列により、情報記録部41に記録される。

40 【0082】記録膜は、光の照射の仕方によって、照射された部分が、結晶質または非晶質となる。結晶質の場合と非晶質の場合とでは複素屈折率が異なるため、光を照射した場合の反射率や透過率が、結晶質の部分と非晶質の部分とでは、異なる。通常の相変化型の光ディスクでは、非晶質の部分に比較して、結晶質の部分の反射率が高く、透過率が低い。図3に示してあるように、光検出器28は、情報記録媒体21に対して、ヘッド27の反対側に設けられている。光検出器28は、ヘッド27を構成している光プローブ37により、情報記録媒体21に照射された光の透過光を検出している。図6において、情報記録媒体21の表面がグレーの色で示されてい

るのは、情報記録媒体21表面の大部分が非晶質であり、透過率が高いことを示しており、記録マークが黒丸で示されているのは、記録マークが結晶質であり、透過率が低いことを示している。

【0083】前述の通り、光プローブ37は、その先端に、半導体レーザ36から放射される光の波長よりも小さい開口を有している。情報記録時には、この開口を通して光をその波長よりも小さい領域に照射し、情報記録媒体21上に、相が非晶質から結晶質に変化した領域を形成し、これを記録マークとして用いる。記録すべき情報に対応して半導体レーザ36から放射される光の強度を  
10 変調し、これに対応したマークを形成して情報を記録する。

【0084】情報の再生時には、半導体レーザ36から情報記録媒体21上で相変化を起こさせない程度の弱い光を一定強度で放射させる。光検出器28で検出される光の強度をシステムコントローラ29にする。光プローブ37の位置に記録マークがある場合、透過率は下がるので、光検出器28での検出光量は小さくなり、記録マークが無い場合、透過率が上がるので、検出光量は  
20 大きくなる。したがって、半導体レーザ36から情報記録媒体21上で相変化を起こさせない程度の弱い光を一定強度で放射させ、光検出器28での検出光量を調べると、情報再生が可能となる。

【0085】図6の間隔検出パターン部42は、周期Λの回折格子状のパターンとなっている。光プローブ37がこの上を通った時、周期に対応した周期的信号が光検出器28から得られる。この場合、光プローブ37の先端と情報記録媒体21との間隔、周期的パターンの空間周波数、その空間周波数を有する光量変化の基本波成分  
30 の間には、実施例1で説明した関係と同じ関係が成り立つ。すなわち、空間周波数の大きい成分ほど、間隔が広がると急激に減衰する。この関係は、周期Λに対応した変化の基本波成分とその高調波成分とに当てはまり、光プローブ37と情報記録媒体21との間隔が広がると、光量変化の基本波成分よりも、高調波成分の方が速やかに減衰する。

【0086】したがって、光プローブ37が間隔検出パターン部42を通った時、光検出器28における検出光量の変化の基本波成分と高調波成分との大きさを比べると、光プローブ37と情報記録媒体21との間隔を検出  
40 できる。両者の間隔は、情報記録媒体21上に形成される記録マークを読み出すのに十分な信号が得られるように、また、両者が衝突しないように保たれている。

【0087】間隔検出パターン部42は、図6ではグレーの地に対し、白抜きで描かれている。この表現は、情報記録媒体21の表面に設けられている記録膜をエッチングプロセスにより部分的に除去して、パターンを形成することを示している。このパターン部分では、記録膜  
50 が無いので、光プローブ37からの放射光は、記録膜で

遮られることなく、光検出器28に到達する。したがって、間隔検出パターン部42の方が、光検出器28で検出される光量が大きくなる。記録マークも間隔検出パターン部42も無いいわゆる地の部分と比較すると、記録マークの部分では、光検出器28で検出される光量が小さくなり、間隔検出パターン部42で検出される光量が大きくなる。この光量の違いから、情報を記録している記録マークと間隔検出パターンとを区別できる。

【0088】本実施例2の情報記録再生装置では、光プローブ37および情報記録媒体21の間隔制御と、光プローブ37をトラックに追従させるトラッキング制御とは、いずれもサンプル制御であり、制御に用いるサーボ信号および情報の読み出し信号の両方が光検出器28で検出される。この場合、サーボ信号と読み出し信号とを区別する必要がある。既に述べたように、一方は光量が増加する信号であり、もう一方は光量が減少する信号なので、両者の区別は、例えば通常の磁気ディスク装置のトラッキング制御におけるサンプル制御の場合と比べて、容易である。

【0089】上記実施例1では、ファーフールドの光でパターン2、3を照射し、光プローブ6で照射光を狭い領域から取り出していた。実施例2では、光プローブ37を用いて間隔検出パターン部42を照射し、ファーフールドの光を光検出器28で検出している。この両者が、同様の原理で間隔を検出できることは、偏微分方程式のグリーン関数の相反性から保証されている。

【0090】図6のトラックエラー信号検出パターン部43は、4本のトラックを横切る一対のくさび型のマークからなる。図6では、トラック44、45、46、47を横切る形でマーク48、49が設けられており、トラック50、51、52、53を横切る形でマーク54、55が設けられている。情報記録媒体21上の他のトラックに関しても、同様である。

【0091】また、一つのくさび形マークを通る4本のトラックをまとめて、トラック束と呼ぶことにする。例えば、4本のトラック44、45、46、47をまとめて、トラック束56といい、トラック50、51、52、53をまとめて、トラック束57という。図6には、陽には記載していないが、各々のトラック束を構成するトラック上には、そのトラックがどのトラック束に属しているかを示す情報が記録されている。例えば、トラック44、45、46、47上には、そのトラックがトラック束56に属しているという情報が記録されている。

【0092】装置外部からシステムコントローラ29に情報の記録または再生の命令が入力されると、システムコントローラ29はこの命令に基づき、どのトラックに情報を記録するか、またはどのトラックから情報を再生するかを決定する。情報記録媒体21は、装置外部からの命令の有無にかかわらず、回転している。情報記録媒  
50

体21上の同心円状のトラックの中心とその回転中心は、両者が一致するように組み立てられているが、一般には、製造誤差や組立て誤差の影響で、ずれが生ずる。そのため、情報を記録または再生すべきトラックに沿って情報を記録または再生する場合、中心軸のずれに起因する偏心運動やスピンドルモータの軸受けのふらつきに起因するトラックのふらつきに光プローブ37を追従させる必要がある。

【0093】ここでは、図6のトラック53に情報を記録または再生する場合について説明する。図6には点線で示したトラック53の左隣に、光プローブ37の軌跡を実線で示してある。図6中の $\Delta r$ は、トラック53と光プローブ37の軌跡のずれであり、トラックエラーである。トラックエラーを示すトラックエラー信号は、トラックエラー信号検出パターン部43を光プローブ37が通過した時の光検出器28の出力から、以下の方法で検出する。

【0094】マーク55の部分は、記録膜が除去されているので、光プローブ37がマーク55を通過した場合に、光検出器28で検出される光量は、マーク以外の部分に比較して増加する。ここで、光プローブ37と情報記録媒体21との相対速度を $V$ とすると、光プローブ37がトラック53に沿ってマーク55を通過した場合には、マーク55の通過に要する時間は、 $L2/V$ となる。したがって、光検出器28で検出される光量を調べると、時間 $L2/V$ の間だけ光量が増える。

【0095】同様に、トラックエラー $\Delta r$ がある場合、マーク55の通過に要する時間は、 $L2'/V$ となる。前述の通り、光プローブ37と情報記録媒体21との間隔は、情報記録媒体21上に形成される記録マークの読み出し十分な信号が得られるように保たれている。したがって、この場合、光検出器28で検出される光量が大きくなる時間は、 $L2'/V$ となる。

【0096】光プローブ37がマーク54を通過する場合を考えると、光プローブ37がトラック53に沿ってマーク54を通過した場合、通過に要する時間は、 $L1/V$ であり、トラックエラー $\Delta r$ がある場合には、 $L1'/V$ となる。光検出器28上で検出光量が大きくなる時間を調べると、トラック53に沿っている場合では、 $L1/V$ となり、トラックエラー $\Delta r$ が有る場合では、 $L1'/V$ となる。

【0097】したがって、二つのマーク54、55を通過した場合の光検出器28での検出光量が大きくなっている時間 $\Delta T1$ 、 $\Delta T2$ を求め、数式18の演算により、トラックエラー信号 $TES$ を求める。

【0098】

【数18】

$$TES = A \cdot \left[ (\Delta T1 - \Delta T2) - \left( \frac{L1}{V} - \frac{L2}{V} \right) \right]$$

但し、 $A$ は適当な比例定数

【0099】 $L1$ 、 $L2$ 、 $V$ は、既知であり、マーク54、55は、図6のように、三角形であるから、数式18で定義されるトラックエラー信号 $TES$ は、 $\Delta r$ に比例することになる。数式18で $A$ を正とすると、図6のように、光プローブ37がトラック53から左にずれた場合は、 $TES > 0$ となり、右にずれた場合は、 $TES < 0$ となる。システムコントローラ29は、光検出器28の出力から $\Delta T1$ 、 $\Delta T2$ を求め、数式18の演算により、トラックエラー信号 $TES$ を求める。

【0100】トラックエラー信号 $TES$ が正であった場合に、光プローブ37は、トラック53に対して、左側すなわち情報記録媒体21の中心側にずれているので、システムコントローラ29は、位置決めモータ23およびコイル34に電流を供給して、光プローブ37を情報記録媒体21の周辺方向に移動させて、トラック53に光プローブ37を追従させる。トラックエラー信号 $TES$ が負だった場合は、反対に光プローブ37を情報記録媒体21の中心方向に移動させ、トラック53に追従させる。

【0101】数式18で求められたトラックエラー信号 $TES$ に基づき、光プローブ37をあるトラックに追従させたとしても、そのトラックがトラック53であるという保証はない。各々のトラック束には、同じ形状のトラックエラー信号検出パターン部43があるからである。例えば、トラック束56は、トラックエラー信号検出パターン部43として、マーク48、49を持っており、光プローブ37がトラック束56上にあつた場合、数式18に基づきトラックエラー信号 $TES$ を求めて、光プローブ37をトラックに追従させると、トラック47に追従させることになる。

【0102】各トラック上には、そのトラックがどのトラック束に属しているかという情報が記録されている。したがって、システムコントローラ29は、数式18で求めたトラックエラー信号 $TES$ に基づき、光プローブ37をあるトラックに追従させ、そのトラックに記録されている情報を読み出すと、光プローブ37がどのトラックに追従しているかを知ることができる。このトラックがトラック53であつた場合は、そのまま情報を記録または再生し、トラック53と異なる場合は、トラック53の位置まで光プローブ37を移動させ、光プローブ37の追従対象がトラック53であることを確認した時点で、情報を記録または再生する。

【0103】トラック53以外のトラックに追従させたい場合は、数式18の $L1$ 、 $L2$ を所定の値にするとともに、追従させるべきトラックを指定する。

【0104】情報記録媒体21に予め何らかの情報が記

録されている場合、光プローブ37と情報記録媒体21との間隔の検出は、次のようにしてもよい。図6において、情報記録媒体21上の情報記録部41に黒丸で示した記録マークは、一般には、ほとんどランダムに並んでいる。したがって、記録マークを読み出した信号は、近似的に全ての周波数成分を持っていると考えられる。この記録マークを光プローブ37で読み出す場合も、実施例1で説明した状況と同じである。すなわち、情報記録媒体21の情報記録部41から読み出した読み出し信号の周波数成分を調べた場合、光プローブ37と情報記録媒体21との間隔が広がるほど、読み出し信号の高周波成分が急激に減衰する。したがって、読み出し信号の周波数成分のうち異なる複数の成分の大きさを比較すると、情報記録媒体21と光プローブ37との間隔を検出できる。

#### 【0105】

【実施例3】図7は、情報記録媒体が磁気記録媒体である場合の本発明による試料とプローブとの間隔検出方法を説明する図である。図7の磁気記録媒体62は、スライダ61に対して、矢印の方向に相対速度Vで相対運動している。スライダ61には力Fが作用しており、この力Fと、磁気記録媒体62およびスライダ61の相対運動に起因する流体力が釣り合い、スライダ61は、磁気記録媒体62に対して、間隔Hで浮上している。磁気記録媒体62は、基板63上に磁性膜64を成膜した構造である。基板63の材質としては、例えば、Alやガラスを用いて、磁性膜64としては、通常の磁気ディスク装置に使われている磁性膜を使用できる。

【0106】磁性膜64には、周期 $\Lambda_1$ を有する周期パターン65と、周期 $\Lambda_2$ を有する周期パターン66とが設けられている。磁気記録媒体62とスライダ61とは、相対運動をしており、磁気記録媒体62には、周期パターン65、66のような磁気的な周期パターンが設けられているので、スライダ61に設けられたリングヘッド67を通る磁束が変化する。リングヘッド67を通る磁束が変化すると、これに巻き付けられたコイル68の両端に、電圧が発生する。リングヘッド67が周期パターン65を通過する場合は、コイル68の両端には、基本周波数 $V/\Lambda_1$ の周期的電圧が発生し、周期パターン66を通過する場合は、基本周波数 $V/\Lambda_2$ の周期的電圧が発生する。この電圧は、リングヘッド67を通る磁束の時間微分に比例するが、周期的に変化する磁束の基本波成分について考えると、基本波成分の振幅とその周波数に比例する。リングヘッド67を通る磁束は、リングヘッドの周囲の磁束密度に少なくとも近似的には比例する。

【0107】そこで、磁気記録媒体62の表面近傍の磁束密度を求める。例えば、周期パターン65表面では、磁性膜64の磁化が、周期 $\Lambda_1$ の周期パターンなので、磁束密度も同じ周期パターンを有していると考えられ

る。したがって、周期パターン65表面では、図7のように座標軸をとると、磁束密度の3個の成分 $B_m(m=x, y, z)$ は、いずれも数式19のように、フーリエ級数に展開できる。ただし、周期パターン65は無限の長さを有しているわけではなく、実際には有限の長さしかないので、フーリエ級数へ展開するといっても近似的なものである。

#### 【0108】

##### 【数19】

$$B_m = \sum_n c_{mn} \cdot \exp[i \cdot n \cdot K1 \cdot x]$$

$$\text{但し、} K1 = \frac{2 \cdot \pi}{\Lambda 1}$$

【0109】ここでは、説明を簡単にするため、yに対する磁束密度の変化はx、zに対する変化と比較して小さいとして無視した。yに対して磁束が変化するとした場合でも、本発明の動作原理に関する結論は同じである。磁気記録媒体62に固定した座標系から見れば、磁束密度の3個の成分は、いずれもラプラス方程式を満たすので、周期パターン65近傍では、磁束密度の3個の成分 $B_m$ は、数式20のようになる。数式20から基本成分 $B_{m1}$ を取り出すと、数式21のようになる。

#### 【0110】

##### 【数20】

$$B_m = \sum_n c_{mn} \cdot \exp[i \cdot n \cdot K1 \cdot x - |n| \cdot K1 \cdot z]$$

#### 【0111】

##### 【数21】

$$B_{m,1} = 2 \cdot |c_{m,1}| \cdot \cos(K1 \cdot x + \alpha) \cdot \exp(-K1 \cdot z)$$

但し、 $\alpha = \arg(c_{m,1})$

【0112】リングヘッド67を通る磁束は、リングヘッド67近傍の磁束密度に、少なくとも近似的には比例する。したがって、数式21により、周期パターン65を通過する時にコイル68の両端に発生する電圧の基本波成分の振幅 $A1$ は、リングヘッド67と磁性膜64との間隔をHとして、数式22のようになる。同様に、リングヘッド67が周期パターン66を通過する時に、コイル68の両端に発生する電圧の基本波成分の振幅 $A2$ は、数式23のようになる。

#### 【0113】

##### 【数22】

$$A_1 = A_{10} \cdot \exp(-K1 \cdot H)$$

#### 【0114】

##### 【数23】

$$A_2 = A_{20} \cdot \exp(-K_2 \cdot H)$$

$$\text{但し、} K_2 = \frac{2 \cdot \pi}{\Lambda_2}$$

【0115】図7において、 $\Lambda_1 > \Lambda_2$ であるので、 $K_1 < K_2$ となる。この関係と、数式22、数式23とから、 $\Lambda_1$ よりも $\Lambda_2$ の方が、 $H$ の増大に対して、急激に小さくなることが判る。したがって、実施例1の場合と同じように、 $\Lambda_1$ と $\Lambda_2$ とを比較すると、 $H$ を推定できる。

【0116】この場合も、磁性膜64に単一周期の周期パターンを設けて、その基本波成分と高調波成分とを比較しても、同様に間隔 $H$ を推定できる。このほか、磁性膜64に適当な情報を記録しておくかまたはランダムな磁区構造を設けておき、これをリングヘッド67が通過した時のコイル68の両端の電圧について、周波数分析して、異なる複数の周波数成分の振幅を比較してもよい。

【0117】本発明の実施例1、実施例2では、光の近接場を用いた場合について説明し、実施例3では、磁場を用いた場合について説明した。実施例1、実施例2では、単色光の光の場がヘルムホルツ方程式を満たすこと、実施例3では、静磁場がラプラス方程式を満たすことから、周期パターンを検出する手段が周期パターンに近付けば近付くほど、周期パターンを検出する分解能が高くなることを利用している。

【0118】このことは、本発明が、周期パターンを検出するのに利用する場が単色光の場や磁場を用いたものに限らないことを示している。例えば、静電場は静磁場と同じようにラプラス方程式に従うので、実施例3と同様な検出方法を実現できる。すなわち、導電性を有する基板の上に強誘電性を有する薄膜を成膜し、適当な電極を薄膜に近づけ、基板と電極との間の電位差を測定するようなシステムでも、静電場がラプラス方程式を満たすので、実施例3と同様の方法で、薄膜と電極との間隔を検出できる。

#### 【0119】

【発明の効果】本発明によれば、記録媒体上に異なる周期を有する周期パターンまたはランダムなパターンを設け、これらのパターンをプローブで検出し、得られる信号を周波数分析して比較し、プローブと記録媒体との間隔を検出するので、プローブの形状のばらつきや経時変化などのプローブの分解能が変化する場合があっても、所定の分解能が得られるように、プローブと試料との間隔を制御でき、プローブの分解能が変化する場合があっても、所定の記録密度を維持する高密度情報記録再生装置を実現できる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による試料とプローブとの間隔検出方法を説明する図である。

【図2】本発明による間隔検出方法の検出原理を説明する図である。

【図3】本発明による情報記録再生装置の実施例の構造を示す斜視図である。

【図4】図3の情報記録再生装置のヘッド周りを拡大して示す斜視図である。

【図5】図4のヘッドを裏返し更に拡大して示す斜視図である。

【図6】情報記録媒体表面を拡大して示す平面図である。

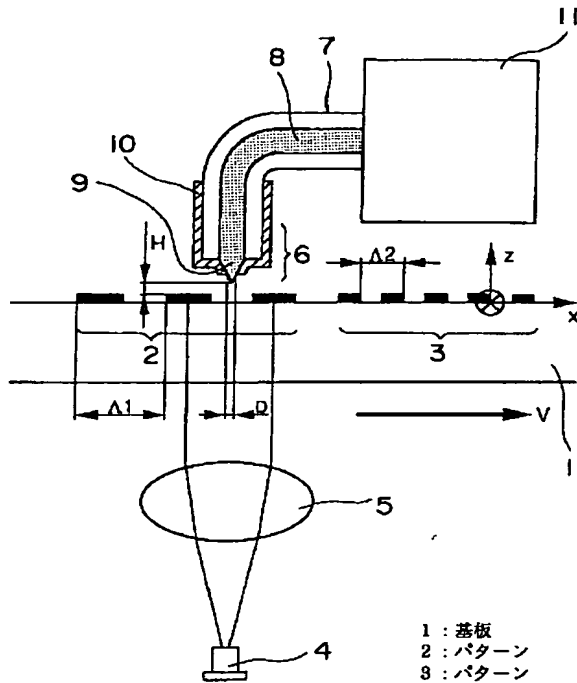
【図7】情報記録媒体が磁気記録媒体である場合の本発明による試料とプローブとの間隔検出方法を説明する図である。

#### 【符号の説明】

- 1：基板
- 2：パターン
- 3：パターン
- 4：半導体レーザー
- 5：レンズ
- 6：光プローブ
- 7：光ファイバ
- 8：コア
- 9：突起
- 10：金属膜
- 11：光検出器
- 21：情報記録媒体
- 22：ベース
- 23：位置決めモータ
- 24：アーム
- 26：2次元アクチュエータ
- 27：ヘッド
- 28：光検出器
- 29：システムコントローラ
- 31：支持ばね
- 32：ヨーク
- 33：磁石
- 34：コイル
- 35：基板
- 36：半導体レーザー
- 37：光プローブ
- 38：可動部
- 39：V溝
- 41：情報記録部
- 42：間隔検出パターン部
- 43：トラックエラー信号検出パターン部
- 44, 45, 46, 47：トラック
- 48, 49：マーク
- 50, 51, 52, 53：トラック
- 54, 55：マーク
- 56, 57：トラック束

- 61: スライダ  
62: 磁気記録媒体  
63: 基板  
64: 磁性膜

【図1】

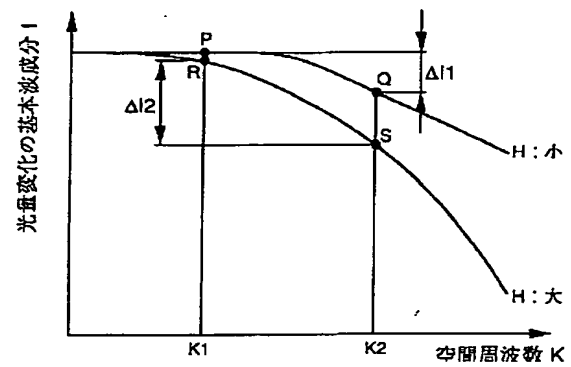


- 1: 基板  
2: パターン  
3: パターン  
4: 半導体レーザー  
5: レンズ  
6: 光プローブ  
7: 光ファイバ  
8: コア  
9: 突起  
10: 金属膜  
11: 光検出器

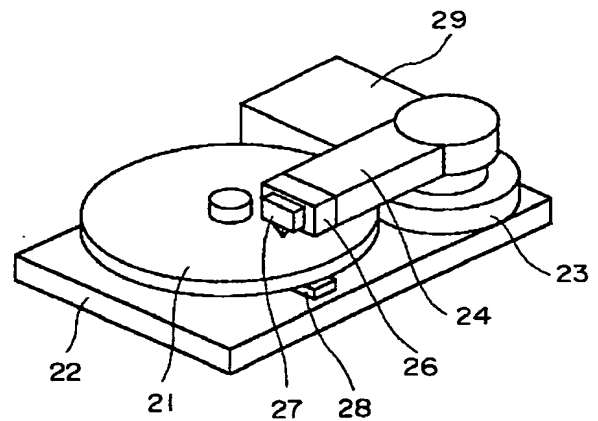
- \* 65, 66: 周期パターン  
67: リングヘッド  
68: コイル

\*

【図2】

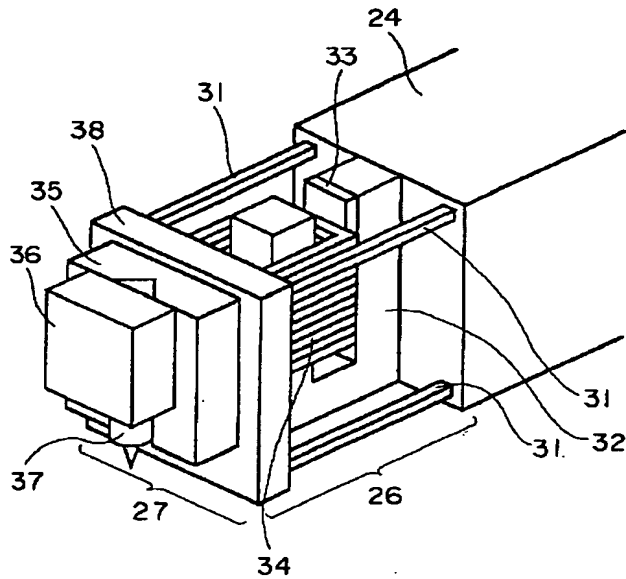


【図3】



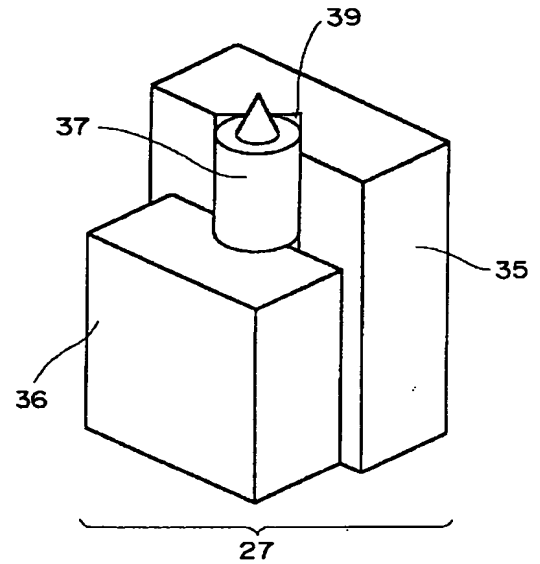
- 21: 情報記録媒体  
22: ベース  
23: 位置決めモータ  
24: アーム  
26: 2次元アクチュエータ  
27: ヘッド  
28: 光検出器  
29: システムコントローラ

【図4】



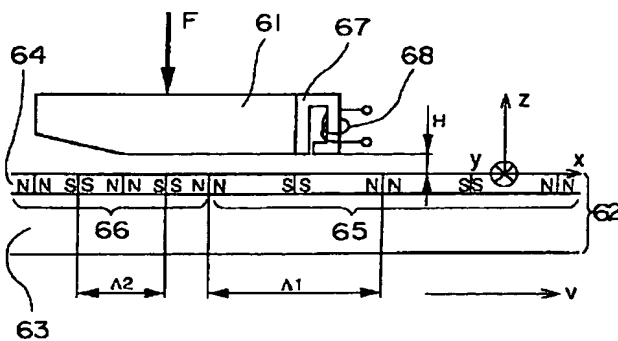
- 31: 支持ばね  
 32: ヨーク  
 33: 磁石  
 34: コイル  
 35: 基板  
 36: 半導体レーザ  
 37: 光プローブ  
 38: 可動部

【図5】



- 35: 基板  
 36: 半導体レーザ  
 37: 光プローブ  
 39: V溝

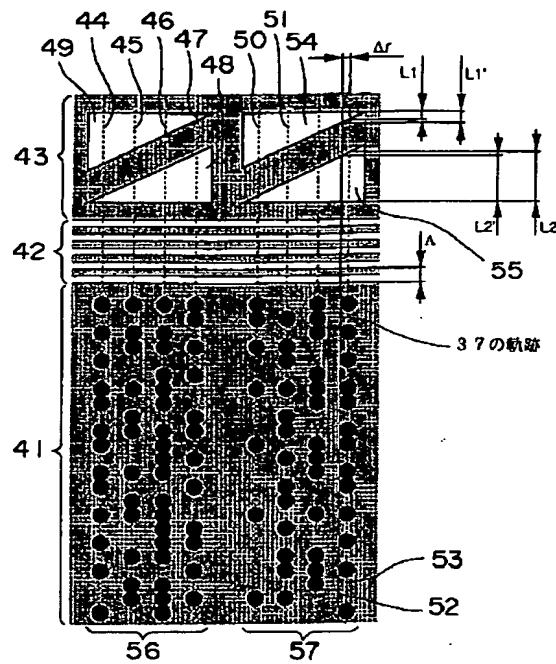
【図7】



- 61: スライダ  
 62: 磁気記録媒体  
 63: 基板  
 64: 磁性膜  
 65, 66: 周期パターン  
 67: リングヘッド  
 68: コイル



【図6】



- 41 : 情報記録部  
 42 : 間隔検出パターン部  
 43 : トラックエラー信号検出パターン部  
 44, 45, 46, 47 : トラック  
 48, 49 : マーク  
 50, 51, 52, 53 : トラック  
 54, 55 : マーク  
 56, 57 : トラック束

BEST AVAILABLE COPY

フロントページの続き

(72)発明者 菊川 敦

埼玉県比企郡鳩山町赤沼2520番地 株式会  
社日立製作所基礎研究所内